

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ НАСТОЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КЛАВИШНЫХ МАШИН**

С. А. РОДИОНОВ, Н. И. ХЛУСОВА

В оптическом приборостроении в первую очередь автоматизируется проектирование оптических приборов. Применение средств вычислительной техники с этой целью имеет большую историю [1, 2], для расчетов используются в основном универсальные ЭВМ, обладающие большой оперативной памятью и быстродействием. Однако наряду с достоинствами использование больших ЭВМ имеет и свои недостатки, основным из которых является большое время ожидания расчетов, вызванное отсутствием непосредственного доступа конструктора к ЭВМ. Заказы конструкторов-оптиков на расчет оптических систем выполняются, как правило, в пакетном режиме.

В настоящее время разрабатываются и будут внедряться такие средства вычислительной техники и программного обеспечения, которые позволят обеспечить диалог конструктора с ЭВМ с помощью выносных пультов [3], однако такой режим работы будет доступен только организациям, имеющим в распоряжении достаточно большие ЭВМ, работающие под управлением специальной операционной системы, обеспечивающей работу с разделением времени. Обслуживание ЭВМ в таком режиме работы осуществляется высококвалифицированными системными программистами и операторами.

В последние годы появились и получили широкое распространение для инженерных расчетов настольные клавишные мини-ЭВМ (ЭКВМ) с программным управлением и оперативной памятью. Эти ЭКВМ наряду с низкой стоимостью и малыми габаритами обладают еще и тем достоинством, что при наличии соответствующего пакета прикладных программ (ППП) их использование на начальных стадиях проектирования может быть более эффективно, чем использование больших ЭВМ, поскольку конструктору предоставляется возможность работать на машине в режиме непосредственного доступа, позволяющего оперативно следить за ходом расчета, вносить изменения в исходные данные в процессе работы. Следует отметить также простоту обслуживания ЭКВМ и работы на них, что делает их доступными широкому кругу конструкторов.

На ЭКВМ с программным управлением можно производить вычисления над десятичными числами с плавающей запятой как с клавиатуры, так и в автоматическом режиме по программе, записанной в оперативной памяти. Существенно, что точность вычислений на ЭКВМ вполне достаточна для оптических расчетов, а в некоторых случаях высокая точность вычислений даже позволяет упростить алгоритм расчета.

В настоящей статье описываются основные черты пакета прикладных программ для ЭКВМ 15ВСМ-5 и «Электроника ДЗ-28», предназначенного для автоматизации некоторых этапов проектирования оптических систем на

настольных ЭКВМ. Выбор класса ЭКВМ, пригодных для оптических расчетов, определяется требованием сохранения исходных данных в процессе расчета с целью их контроля и корректировки в случае необходимости.

Количество параметров, описывающих оптическую систему, прежде всего зависит от количества поверхностей в ней. Для описания каждой из поверхностей минимальным являются три параметра: радиус кривизны поверхности, расстояние ее от предыдущей поверхности, показатель преломления материала для основной длины волны. Для оптической системы в целом необходимо задать еще положение и размер предмета, размер и положение апертурной диафрагмы и т. п. Таким образом, система, состоящая из 15 поверхностей, с учетом необходимого количества рабочих ячеек требует для расчета действительных лучей около 60 регистров памяти ЭКВМ. Приблизительно такой же объем оперативной памяти (около 500 команд, по 8 шагов команд в каждом регистре) необходим для универсальных программ средней сложности, т. е. для оптических расчетов целесообразно использовать ЭКВМ с оперативным запоминающим устройством, рассчитанным на хранение не менее 120 чисел или 1 К байт.

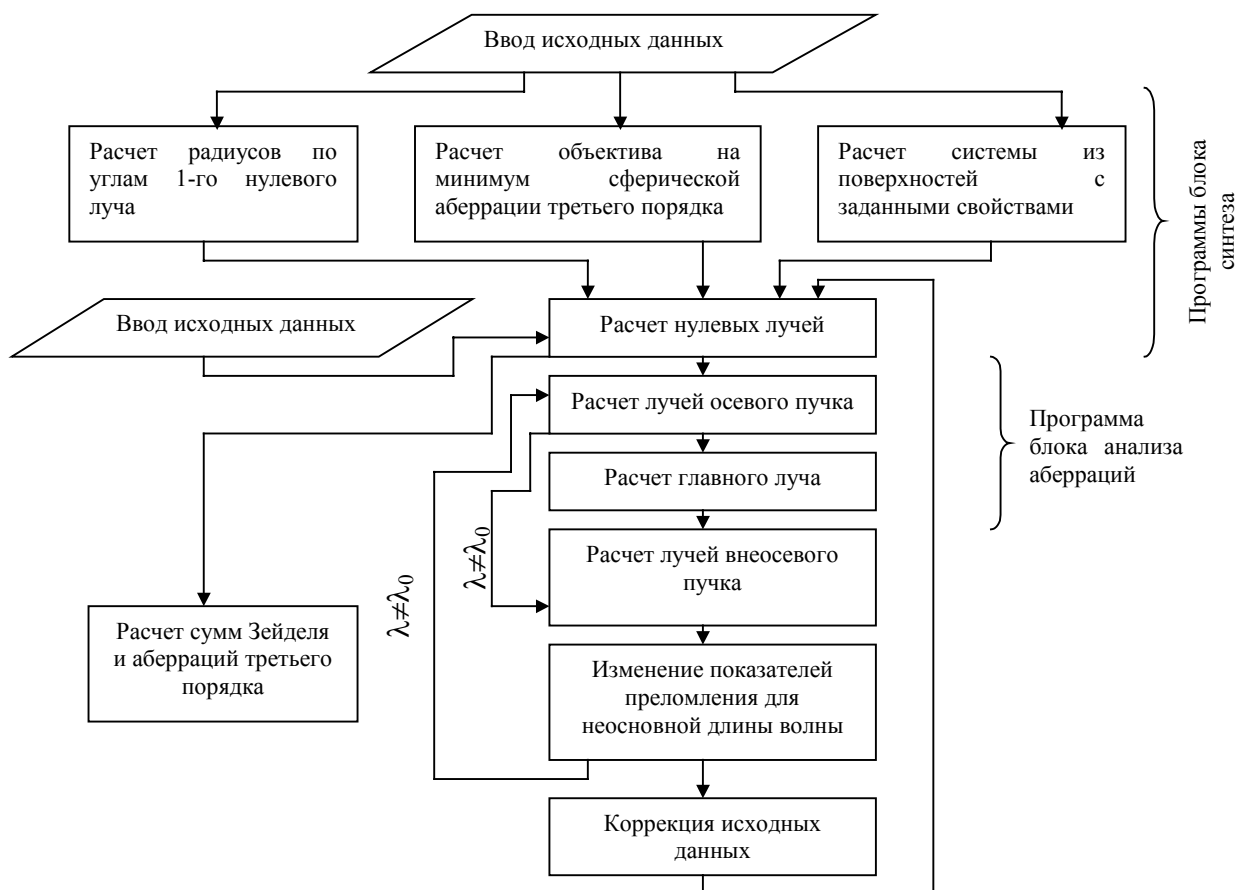
В ППП для оптических расчетов входят одиночные программы, работающие самостоятельно, и системы программ, позволяющие автоматизировать определенные этапы проектирования, такие как анализ и синтез оптических систем. Программы объединены общими исходными данными и определенной последовательностью использования результатов расчета. Анализ включает в себя вычисление по заданным значениям конструктивных параметров характеристик, описывающих работу оптических систем, в частности, увеличения, положения изображения, положения зрачков, aberrаций. Под синтезом понимается определение конструктивных параметров исходной оптической системы.

Блок анализа включает в себя программы расчета нулевых лучей, сумм Зейделя и aberrаций третьего порядка; программы расчета действительных лучей, проходящих через оптические системы, состоящие из сферических, плоских и несферических поверхностей вращения второго порядка, с вычислением следующих aberrаций: продольной и поперечной сферической aberrации, волновой aberrации для осевого и внеосевого пучков, неизопланатизма, дисторсии, астигматизма; возможен расчет систем с децентрированными поверхностями.

Программы блока анализа универсальны, т. е. пригодны для расчета систем как ближнего (признак «1»: предмет и изображение находятся на конечном расстоянии, измеряемом в миллиметрах), так и дальнего (признак «0»: предмет и изображение - на большом, измеряемом в диоптриях расстоянии, условно называемом «бесконечность») действия. Случай, когда предмет или изображение находятся на бесконечности в математическом смысле, т. е.  $S_1 = 0$  дптр или  $S' = 0$  дптр, не является исключением в принятой классификации, и все системы легко делятся на четыре следующих типа по признаку положения предмета и изображения:

- 00 (телескопическая система) – предмет и изображение на бесконечности;
- 11 (репродукционная система) – предмет и изображение на конечном расстоянии от системы;
- 01 (фотообъектив) – предмет на бесконечности, а изображение на конечном расстоянии;
- 10 (микроскоп) – предмет на конечном расстоянии, а изображение на бесконечности.

В описываемом пакете программ принята система обобщенных характеристик, позволяющая получить одинаковые соотношения между характеристиками любого типа систем. Обозначения и определения характеристик, а также порядок ввода исходных данных и индикации результатов в программе анализа aberrаций описаны в соответствующих инструкциях. Допустимое количество поверхностей в рассчитываемой системе определяется объемом памяти используемой модели ЭКВМ. Для машин с объемом памяти не менее 4 К байт предусмотрен расчет систем до 30 поверхностей с автоматическим поиском отдельных блоков программы, для машин с меньшей памятью (но не менее 1 Кбайт) количество поверхностей в системе не превышает 14-15.



### Структура пакета прикладных программ ОПАЛ-ЭКВМ

Блок синтеза оптических систем включает следующие программы, определяющие конструктивные параметры, а именно радиусы кривизны поверхностей: расчеты радиусов по углам с осью первого нулевого луча,

радиусов кривизны на минимум сферической аберрации третьего порядка и радиусов кривизны поверхностей с заданными свойствами (апланатических и концентрических).

В ППП входят следующие одиночные программы: расчет параксиального луча с индикацией его углов с осью и высот на поверхностях, программа анализа схемы контроля несферических поверхностей второго порядка, расчет осветителя с углом охвата более  $180^\circ$ .

Отдельные программы пакета и их блоки в зависимости от типа ЭКВМ записываются для хранения либо в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ), либо во внешнем запоминающем устройстве (ВЗУ), либо на накопителе программ, представляющем собой кассету с магнитной лентой (МЛ) или набор магнитных карт. Перед расчетом программа должна быть считана в оперативное запоминающее устройство ЭКВМ. Последовательность использования отдельных блоков программы определяется задачей расчета. Структура пакета и взаимодействие отдельных программ приведены на рисунке.

Исходные данные сохраняются в процессе расчета по всем программам и в любое время могут быть проконтролированы или исправлены в случае необходимости. После корректировки исходных данных расчет повторяется.

Пакет программ ОПАЛ-ЭКВМ обеспечивает расчет аберраций для одной длины волны, т. е. не предусмотрено хранение в памяти ЭКВМ показателей преломления для дополнительных длин волн. Однако при необходимости расчета хроматических аберраций показатели преломления для дополнительных длин волн (неосновных) вводятся в память в те же регистры, что и для основной длины волны, а расчет выполняется с сохранением плоскости установки  $5'$  для основной длины волны. Порядок обращения к блокам программы при расчете хроматизма указан на схеме структуры ППП.

Время расчета в блоке анализа аберраций при вычислении аберраций для четырех лучей для точки на оси и одной внеосевой точки (9 лучей) системы из 15 поверхностей составляет приблизительно 15-20 мин с расчетом хроматических аберраций.

Опыт эксплуатации пакета программ для оптических расчетов на ЭКВМ показал высокую эффективность их использования при анализе начальной конструкции перед оптимизацией, при расчете несложных систем, а также для срочных контрольных расчетов. Разработчиками предполагается пополнение пакета новыми программами анализа и синтеза систем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Feder D. P. – *J. of Opt. Soc. of Am.*, 1952, vol. 41, p. 289.
2. Грамматин А. П. – *ОМП*, 1959, № 7, с. 8.
3. Блэкман М. *Проектирование систем реального времени*. – М.: Мир, 1977.